

В І Д Г У К
офіційного опонента,
доктора технічних наук, доцента
Коряшкіної Лариси Сергіївни
на дисертаційну роботу
Стрембовського Володимира Васильовича
«Оптимізація траєкторій руху космічних об'єктів в атмосфері Землі за
тепловим чинником»,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 113 Прикладна математика,
галузі знань 11 Математика та статистика

Актуальність роботи. Швидке зростання кількості космічних об'єктів на орбітах з обмеженими просторовими характеристиками породжує низку проблем, одна з яких – накопичення відходів. На даний момент не існує економічно та технічно прийнятних способів утилізації космічного сміття, основна увага приділяється заходам контролю за його утворенням, зокрема, відведенню космічних апаратів, які відпрацювали свій час, на орбіти поховання, використання гальмування об'єктів при зіткненні з атмосферою та інші. Відсутність ефективних методів прогнозування траєкторій руху космічного сміття сприяє утворенню ще більшої кількості об'єктів, які забруднюють космічний простір. Виникає необхідність у створенні математичних моделей і методів відстеження переміщення об'єктів космічного сміття, аналізу динамічних процесів їх взаємодії з іншими тілами. Актуальною є розробка ефективних методик утилізації або зміни траєкторій об'єктів космічного сміття з метою їхнього виведення з орбіти чи безпечного знищення. Дослідження у цьому напрямі мають не лише наукову, а й стратегічну цінність для збереження стабільного функціонування орбітальної інфраструктури. Моделі та методики, розроблені у роботі, спрямовані на вирішення проблеми екологічної безпеки космічного простору, яка є важливою задачею для всіх космічних держав, зокрема, нашої країни, що свідчить про актуальність дисертації Стрембовського Володимира Васильовича.

Наукові результати та їх новизна. Отримані наукові результати розв'язують актуальну науково-прикладну задачу розробки математичного та алгоритмічного забезпечення керованого зведення з орбіти об'єктів космічного сміття в атмосфері Землі.

Наукова новизна отриманих результатів:

1) вперше для оцінки теплових навантажень на об'єкт, що рухається в атмосфері Землі, побудована модель машинного навчання, яка дозволяє оцінювати вплив траєкторних параметрів на теплові потоки, що виникають на атмосферних ділянках траєкторій;

2) вперше запропоновано і обґрунтовано гібридний підхід, що поєднує машинне навчання та еволюційні алгоритми для одночасного прогнозування характеристик теплового потоку, оптимізації параметрів траєкторії входу космічного об'єкта в атмосферу.

Практичне значення та практична цінність отриманих результатів.

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробці методики розрахунку та оптимізації траєкторій сходження космічних об'єктів з навколоземної орбіти з урахуванням теплового чинника. Запропонована методика може бути використана під час проєктування технологій та засобів масового очищення орбіти від космічного сміття для вибору таких параметрів його входу в атмосферу, які забезпечують гарантоване згорання об'єкта без утворення залишкових фрагментів.

Оцінка змісту, ступеню завершеності та обґрунтованості положень дисертації.

У вступі здобувачем визначено актуальність теми, сформульовано мету дослідження та задачі, розв'язання яких забезпечує реалізацію мети роботи, подано наукову новизну та практичне значення результатів. Наявна інформація про публікації та апробацію результатів досліджень.

У першому розділі автором обґрунтовано нагальну потребу у пошуку і розробці нових підходів щодо вирішення проблеми космічного сміття на основі інтеграції потужного математичного забезпечення, методів інтелектуального аналізу даних і найсучасніших комп'ютерних інформаційних технологій. Описано існуючі методики оцінювання теплових навантажень на космічні об'єкти у процесі руху в атмосфері Землі, задачі космічної тематики, до розв'язання яких успішно застосовуються методи машинного навчання. Сформульовано перелік завдань дисертаційного дослідження.

У другому розділі сформульована постановка задачі оптимізації нагріву космічного об'єкта. Розглянуто її фізичні аспекти та побудовано математичну модель. Запропоновано гібридну обчислювальну стратегію, що поєднує швидку нейромережеву апроксимацію теплового профілю з генетичним алгоритмом для глобального пошуку оптимального кута входу.

У третьому розділі детально описано процедуру відбору та генерування найважливіших вхідних ознак, яка передбачає повну варіативність початкових умов і геометричних характеристик, достатніх для прогнозування і оптимізації теплового навантаження на об'єкт. Проведено оцінювання аеродинамічних

параметрів космічних об'єктів, представлених в наборі даних. Обґрунтовано вибір архітектур машинного навчання для подальшого дослідження з урахуванням особливостей задачі та з метою найкращого збалансування точності й швидкодії. Наведено рекомендації щодо діапазонів вибору гіперпараметрів обраних архітектур нейронних мереж.

Четвертий розділ присвячено практичній реалізації запропонованого гібридного підходу щодо оптимізації траєкторії руху космічного об'єкта з урахуванням теплового профілю. Наведено результати підбору гіперпараметрів нейронних мереж і навчання алгоритмів прогнозування теплового потоку на сформованому наборі даних, обґрунтовано вибір найкращого для його інтеграції з генетичним алгоритмом.

Проведені обчислювальні експерименти і валідація їх результатів дозволяють зробити висновок про ефективність поєднання методів машинного навчання і еволюційної оптимізації, підтверджують достовірність і обґрунтованість дисертаційних досліджень Стрембовського Володимира Васильовича.

Повнота викладення результатів дисертації в наукових виданнях. Основні результати досліджень викладено в 3 статтях у фахових виданнях України, одне з яких індексовано у науково-метричній базі Scopus; представлено на 1 міжнародному конгресі, матеріали якого також включено до бази Scopus.

Основні положення дисертації повністю викладено в опублікованих працях. Вимоги щодо кількості та якості публікацій виконано.

Повний обсяг роботи складає 154 сторінки, з яких 139 сторінок – основний текст, список використаних джерел займає 21 сторінку і налічує 195 найменувань.

Оформлення дисертації та дотримання вимог академічної доброчесності. Дисертація написана науково правильною мовою з використанням сучасної термінології.

Тема, зміст та отримані наукові результати роботи відповідають спеціальності 113 Прикладна математика в галузі знань 11 Математика та статистика.

Аналіз наукових праць, що опубліковані автором, змісту дисертаційної роботи дозволяє стверджувати, що усі наукові та практичні результати отримані здобувачем особисто. В дисертаційній роботі не виявлено текстових запозичень та використання наукових результатів без посилань на відповідні джерела.

Відсутність порушень академічної доброчесності підтверджує наявний звіт про результати перевірки на академічний плагіат дисертації Стрембовського Володимира Васильовича.

Є декілька зауважень:

1. Для кращого сприйняття математичної постановки задачі (2.1) – (2.3) доцільно було б записати її у такий спосіб: знайти такий кут $\hat{\theta}$, що $Q(\hat{\theta}) = \max_{\theta \in [0,3]} \int_0^T q(H(t), V(t), R_n; \theta) dt$ за умов... При цьому слід, по-перше, зазначити залежність (хоча б формально) правої частини рівності від параметра θ ; по-друге, навести формули, які описують динаміку змін функцій $H(t)$ та $V(t)$, якщо такі є, або вказати про їх відновлення за статистичними даними; по-третє, навести формулу (1.3), не відсилаючи читача до попереднього розділу. Вперше залежність теплового профілю q від параметра θ відображено лише на стор. 57.

2. Також не зрозуміло, чому в задачі (2.8), (2.9) у виразі (2.8) параметром функції Q^* є вектор $x = [\theta, V_0, H_0]$, а в системі обмежень (2.9) зазначена її залежність лише від θ .

3. На мій погляд, розділ 3 дещо перенасичений відомостями від розробників про компоненти, технічні характеристики й обчислювальні особливості обраних архітектур нейронних мереж, що відвертає увагу читача від викладу основного матеріалу роботи.

4. Мета роботи, сформульована у Вступі, і мета, зазначена як виконана у Висновках, дещо відрізняються, а саме: «інтегровану методику», можливо випадково, замінено «методологією». Хоча ці два поняття тісно пов'язані між собою, вони суттєво різняться широтою досліджень і практичної діяльності. Вважаю, що мета у Вступі коректніше відповідає змісту дисертації.

5. Список літературних джерел подано не в єдиному стилі. У посиланні на монографію [9] відсутні два перших автора: Голубек О.В., Дреус А.Ю., Ємець В.В., Пашков А.В. Системи відводу космічних об'єктів з низьких навколоземних орбіт: монографія. Дніпро: Ліра, 2019. 218 с.

Наведені зауваження не знижують високий науковий рівень та практичну цінність дисертаційної роботи, суттєво не впливають на її загальну позитивну оцінку.

Висновок про відповідність дисертації вимогам, які пред'являються до наукового ступеня доктора філософії. Дисертація Стрембовського Володимира Васильовича «Оптимізація траєкторій руху космічних об'єктів в атмосфері Землі за тепловим чинником» є завершеною науково-дослідницькою роботою, яка містить нові науково обґрунтовані результати. У дисертаційній

роботі вирішено актуальне науково-прикладне завдання розробки науково-аналітичного та методичного забезпечення для інженерного проектування та сценарної оцінки безпечного знищення сміття у космічному просторі.

Тема і зміст роботи відповідають спеціальності 113 Прикладна математика, а наукові та практичні результати, отримані в дисертаційній роботі є значущими для галузі знань 11 Математика та статистика.

Вважаю, що дисертація Стрембовського Володимира Васильовича відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022р. №44 та вимогам наказу МОН України №40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», а здобувач, Стрембовський Володимир Васильович, заслуговує присвоєння наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика.

Офіційний опонент –
доктор технічних наук, доцент,
професор кафедри системного
аналізу та управління Національного
технічного університету
«Дніпровська політехніка»



Лариса КОРЯШКІНА

Лідер Корняшкіна
Лариса Коряшкіна
Директор з наукової
роботи НТУ «Дніпровська
політехніка»



Сергій Нікітенко